

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

---

**Bakalářský studijní program:** TEXTIL

**Studijní obor:** Technologie a řízení oděvní výroby - 3107R004

**Zaměření:** Konfekční výroba

**Název:** *Vedení a průchod tepla vrstvou oděvního výrobku a návrh optimálního řešení vybraného oděvního výrobku nošeného v chladném nebo teplém prostředí*

**Title:** *Conduction and passage of heat trough the layers of clothing product and design optimal clothing product for cold and hot conditions*

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Mgr. Marie Nejedlá

**Počet:**

stran	obrázků	tabulek	zdrojů	příloh
57	14	15	21	6

*Prostějov 2006*

*Zuzana Wiszczorová*

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že si svou bakalářskou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL, po uplynutí pěti let po obhajobě.

V Prostějově, dne 10.5.2006

.....

Podpis

## Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce **Ing. Mgr. Marii Nejedlé**, za odborné vedení, poskytování rad a podporu v průběhu vypracování bakalářské práce.

Také bych chtěla poděkovat za vstřícné jednání a poskytnutí vzorků textilních materiálů firmám **BoBo, výroba oděvů, s.r.o., Tilak, a.s., Prima Outdoor, s.r.o.**

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá šířením tepla vedením, mezi organismem a vrstvou oděvního výrobku.

Práce popisuje pět možných způsobů sdílení tepla. Charakterizuje účastněné faktory sdílení tepla i jejich ovlivňující činitele. Pozornost věnuje také optimálním vlastnostem oděvu pro pocit komfortu, během jeho nošení. Jsou zde uvedeny vlastnosti oděvních materiálů, zvolených pro návrh oděvu do chladného a teplého prostředí.

V praktické části, zaměřené na kondukční způsob sdílení tepla, je stanovena teplota okolí příslušná pro zvolené souvrství materiálů, velikost tepelné izolace jednotlivých částí těla a míra tepelné izolace při odlišných činnostech organismu.

## **Annotation**

Baccalaureate work deals with conducting diffusion of heat through human organism and layers of clothing product.

The work describes five possible way of heat transfer. Feature participate factors heat transfer and theirs influencing agents. Attention inscribe to also optimal feature clothing for comfort sensation within his wear. There are here mentioned characteristics attire materials select for design clothing for cold and hot condition.

In practical parts, specialized on the conducting way of heat transfer, is assessed surrounding temperature relevant for select complex materials, size thermal isolation single section bodies and measure thermal isolation at different activity organism.

## **Klíčová slova**

teplo, teplota, kondukce, lidský organismus, oděv, okolní prostředí, vedení tepla, jednoduchá a složená vrstva oděvního výrobku, funkční systém oblékání, komfort, teplota pokožky, tepelný odpor, teplota okolí

## **Key words**

heat, temperature, conduction, human organism, clothing, condition, heat conduction, single-leaf wall and composite layer of clothing product, comfort, skin temperature, thermal resistance, condition temperature

# Obsah

---

<b>1. Sdílení tepla mezi organismem a okolním prostředím .....</b>	<b>10</b>
1.1 Teplota - Teplo.....	10
1.2 Tvorba tepla v lidském organismu.....	11
1.3 Způsoby sdílení tepla mezi organismem a okolním prostředím .....	12
1.3.1 Kondukce .....	13
1.3.1.1 Vedení tepla rovinnou stěnou .....	13
1.3.1.2 Vedení tepla válcovou stěnou .....	16
1.3.2 Konvekce .....	18
1.3.3 Radiace.....	20
1.3.4 Evaporace.....	21
1.3.5 Respirace.....	22
<b>2. Studie faktorů při sdílení tepla .....</b>	<b>24</b>
2.1 Faktory nezbytné pro hodnocení sdílení tepla a jejich ovlivňující činitele .....	24
2.1.1 Organismus .....	24
2.1.2 Oděv .....	27
2.1.3 Prostředí obklopující lidský organismus.....	29
2.2 Vlastnosti oděvu zajišťující optimální životních funkce lidského organismu.....	30
2.2.1 Oděvní komfort .....	30
2.2.1.1 Funkční komfort.....	30
2.2.1.2 Psychologický komfort .....	31
2.2.2 Systém vrstveného oblékání .....	32
<b>3. Zkoumané oděvní materiály .....</b>	<b>34</b>
<b>4. Analýza kondukčního průchodu tepla oděvní vrstvou.....</b>	<b>39</b>
4.1 Stanovení změny teplot při šíření tepla kondukcí, pro výpočet příslušné teploty okolí optimálního oděvního souvrství .....	41
4.2 Stanovení změny teplot při šíření tepla kondukcí, pro výpočet velikosti tepelného odporu oděvního souvrství jednotlivých částí těla .....	45
4.3 Výpočet tepelného odporu oděvu v závislosti na teplotě okolí .....	51
<b>5. Závěr .....</b>	<b>54</b>
<b>6. Seznam použité literatury .....</b>	<b>56</b>
<b>7. Seznam příloh.....</b>	<b>57</b>




## Seznam použitých symbolů


---



### Značky




<b>GTX</b>	Gore tex
<b>PAD</b>	polyamid
<b>PES</b>	polyester
<b>PP</b>	polypropylen
$\phi$	hustota tepelného toku
<b>R</b>	tepelný odpor
<b>To</b>	teplota okolního prostředí
<b>Ts</b>	teplota systému
<b>XCR</b>	druh materiálu Gore tex



## Symboly

Symbol	Postup praní
	Maximální teplota 40 °C. Normální mechanické působení. Normální máchání. Normální odstředování.
	Maximální teplota 40 °C. Omezené mechanické působení. Máchání, postupné ochlazování . Mírné odstředování.
	Maximální teplota 30 °C. Značně omezené mechanické působení. Normální máchání. Mírné odstředování.

Symbol	Postup bělení
	Výrobek se nemůže bělit.

Symbol	Postup žehlení
	Žehlení při maximální teplotě žehlicí plochy 110 °C, opatrně při žehlení s parou.
	Výrobek se nesmí žehlit. Napařování a zpracování parou je nepřípustné.

Symbol	Postup čištění
	Výrobek se může chemicky čistit tetrachlorethenem, monofluortrichlormethanem. Obvyklé postupy čištění jsou bez omezení.
	Čištění rozpouštědly uvedenými v předchozím odstavci s omezeným přidáním vody nebo s omezeným mechanickým působením nebo s omezenou teplotou sušení. Samoobslužné čištění není dovoleno.
	Výrobek se nesmí chemicky čistit. Nesmějí se odstraňovat skvrny organickými rozpouštědly.

Symbol	Postup sušení
	Výrobek se může sušit v bubnové sušičce při nižší teplotě sušení.
	Výrobek se nesmí sušit v bubnové sušičce.

# Úvod

---

Člověk se začal oblékat na základě svých přirozených potřeb bez toho, aniž by poznal fyzikální zákony o sdílení tepla. Postupem let se podařilo rozvinout znalosti fyzikálních termodynamických zákonů a využít je v oblasti vědního oboru fyziologie odívání, který zkoumá fyzikální vztahy v souvislosti s organismem a okolním prostředím.

BP pojednává o teple a jeho způsobech šíření, mezi lidským organismem a okolním prostředím. Vystihuje navzájem se ovlivňující faktory organismu, oděvu a okolního prostředí, při sdílení tepla.

BP se zaměřuje také na komfort oděvního výrobku, který při styku s organismem vytváří souhrn kladných či záporných pocitů. Pro vybraný sektor oděvních materiálů popisuje, jak zvolit správný systém vrstveného oblékání tak, aby materiály plnily svou funkci během nošení.

V jedné z kapitol jsou popsány vybrané oděvní materiály a jejich vlastnosti, které tvoří během nošení ucelené souvrství, jímž se šíří teplo. Tyto materiály tak chrání lidský organismus nejen proti působení tepelných účinků, ale také proti nepříznivým povětrnostním vlivům.

Cílem práce je vyhodnotit optimální oděvní výrobek, při jehož nošení v chladném, resp. teplém prostředí, by nedocházelo k nepříjemným pocitům chladu nebo naopak tepla. Takový oděvní výrobek lze navrhnout pomocí stanovení poklesu teplot, přičemž je zjištěno, do jakých teplot okolního prostředí je konkrétní výrobek vhodný, pro komfortní tepelný pocit organismu. Propočtem poklesu teplot lze také stanovit oděvní výrobek s potřebnými tepelně izolačními vlastnostmi pro konkrétní teplotu okolního prostředí.



# 1. Sdílení tepla mezi organismem a okolním prostředím

---

## 1.1 Teplota - Teplo

Subjektivní zkušenosti se sdílením tepla získal člověk již v hlubokém dávnověku. Byly založeny na vnímání slunečního záření, na pocitu tepla a chladu a na smyslovém poznání teplotního rozdílu mezi teplejšími a chladnějšími tělesy. Konkrétnější podoby nabyly od doby, kdy člověk před nějakou stovkou tisíc let poznal oheň a naučil se jej využívat jako zdroje tepla, i k úpravě potravin a později v primitivních technologiích. Do dávné minulosti spadá i poznatek, že rozdíl teplot mezi teplejším a studenějším tělesem se samovolně vyrovnává na nějakou společnou rovnovážnou hodnotu. Co však ono vyrovnání způsobuje známo nebylo, nerozlišovalo se mezi teplem a teplotou.

Dnes tyto dvě veličiny můžeme specifikovat díky objevům významných světových fyziků.

### Teplota

Je fyzikální veličina, patřící mezi základní veličiny SI. Udává stupeň ohřátí tělesa. Subjektivně lze teplotu vnímat jako pocit chladu, horka apod. Základní jednotkou pro její měření je v soustavě SI kelvin, kromě něj existují další stupnice, které používají jiný výchozí bod i dělení na stupně.

Nejznámější stupnice jsou:

- Kelvinova
- Celsiova
- Fahrenheitova

K měření teploty se používají teploměry založené na různých principech.

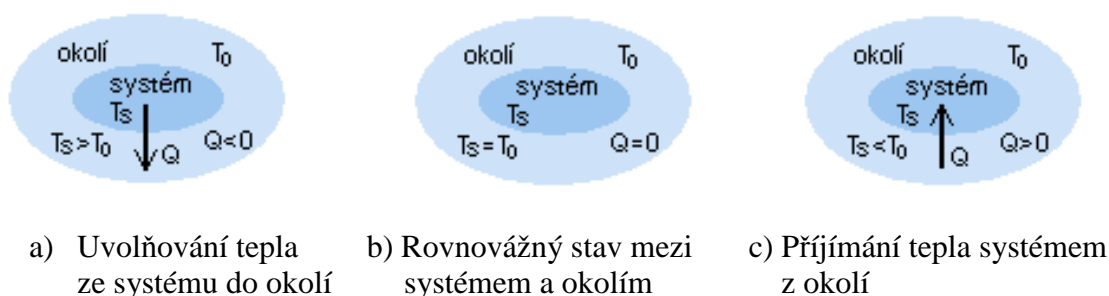
### Teplo

Považujme jakékoli těleso za určitý systém a prostor v němž se toto těleso nachází jako okolí. Pokud si teploty systému ( $T_S$ ) a okolí ( $T_O$ ) nebudou sobě rovny, pak se teplota systému bude měnit tak dlouho, dokud se tyto dvě teploty nevyrovnají, pak bude dosaženo tepelné rovnováhy (obr.b).

Teplo se šíří v prostoru a čase z místa vyšší teploty do místa nižší teploty, nikdy ne naopak.

Proto záleží na tom, zda je vyšší teplota systému či okolí. Pokud  $T_S$  bude vyšší než  $T_O$ , pak předává systém teplo do okolí - říká se že teplo je uvolněno (obr.a). Nastane-li opačná situace,  $T_S$  bude nižší než  $T_O$ , pak dochází k dodání tepla z okolí do systému (obr.c).

Následující obrázky znázorňují výše popsané procesy:



**Obr. 1** Vztah teploty systému ( $T_S$ ) a teploty okolí ( $T_O$ )

Teplo „ $Q$ “ je tedy děj, kdy dochází k přenosu energie. Ten je vyvolán změnou teploty systému a okolí, přičemž se mění vnitřní energie (souhrn potenciální a kinetické energie spojené s náhodným pohybem atomů a molekul) dané soustavy. Není proto veličinou stavovou. [7]

## 1.2 Tvorba tepla v lidském organismu

V lidském těle dochází na základě složitých metabolických procesů k výdeji a příjmu tepla.

Organismus člověka představuje samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus je zaměřen na zajišťování rovnováhy mezi množstvím vytvořeného tepla a množstvím tepla odevzdávaného do okolního prostředí. Jestliže dojde k narušení tepelné rovnováhy, teplo se buď hromadí v organismu člověka, nebo rychle uniká. Souhrn fyziologických pochodů, podmíněných činnostmi centrálního nervového systému

zaměřených na udržování stálé tělesné teploty, se nazývá tepelná regulace (termoregulace).

Při zvýšeném uvolňování tepla v organismu nebo při přehřátí těla vlivem vnějšího tepla, mechanismus termoregulace napomáhá zvětšení přestupu tepla.

Při ochlazení organismu (jež je podmíněno zejména nesouladem mezi tepelně izolačními funkcemi oděvu a klimatickými podmínkami) mechanismus termoregulace vyvolává zmenšení přestupu tepla a zvýšení tvorby tepla v organismu.

Tepelná regulace, která zajišťuje zvýšení produkce tepla v organismu, se nazývá chemická. Představuje látkovou přeměnu, tedy intenzitu chemických reakcí, a tedy tvorbu tepla.

Naopak fyzikální tepelná regulace je ta, která je zaměřena na zmenšení nebo zvětšení průchodu tepla do okolního prostředí. Zahrnuje podíly jednotlivých odvodů tepla z organismu, tedy výdej tepla. [1,6]

### **1.3 Způsoby sdílení tepla mezi organismem a okolním prostředím**

Rozlišují se dva druhy sdílení tepla podle šíření v čase:

Stacionární tepelný děj značí tepelně ustálený termokinetický režim, charakterizovaný v čase stálými teplotami ve všech bodech soustavy.

Nestacionární tepelný děj zahrnuje neustálené děje, při kterých je teplotní pole v soustavě funkcí prostoru a času. [3]

Časový průběh šíření tepla u oděvních textilií je nestacionární - tzn., že se proměňuje časově i místně. Lidské tělo nemá všude stejnou teplotu, textilie musí kromě tepla transportovat také vlhkost a vzduch. Z těchto důvodů je velmi složité zajistit nestacionární podmínky při měření, a proto se prostup tepla měří stacionárními metodami.

Člověk vydává teplo do okolního prostředí různými způsoby. Podle toho, v jakém prostředí a na jakých fyzikálních základech k přenosu tepelné energie dochází, je rozeznáváno pět typů sdílení tepla mezi organismem a okolím:

- kondukce (vedení)
- konvekce (proudění)
- radiace (záření)
- evaporace (vypařování)
- respirace (dýchání).

[6]

### 1.3.1 Kondukce

Kondukční způsob sdílení tepla je takový, kde vrstva oděvu doléhá svou plochou na pokožku, další textilní vrstvu či jiný předmět (např. při sezení, ležení) a odnímá tak teplo kontaktním způsobem.

Transport tepelné energie probíhá následkem mikropohybu molekul. Molekuly s vyšší teplotou předávají při srážkách přebytek své kinetické energie molekulám s nižší teplotou.

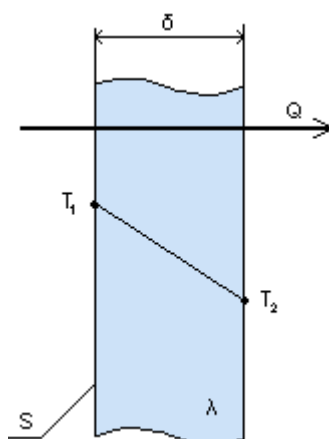
[1, 5]

#### 1.3.1.1 Vedení tepla rovinnou stěnou

O vedení tepla se hovoří pouze u látek tuhých. U plynů a kapalin se přenáší teplo vedením pouze v nepatrné míře, proto se plynné a kapalné látky označují jako tepelné izolanty.

- Vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou

Je uvažována jednoduchá rovinná stěna o ploše  $S$ , tepelné vodivosti  $\lambda$  s tloušťkou  $\delta$  a stálými teplotami  $T_1$  na vnitřní straně povrchu stěny (strana na kterou teplo působí),  $T_2$  (teplota na vnější straně povrchu stěny). Nechť na tuto stěnu působí teplo  $Q$ , šířící se vedením v kladném směru osy  $x$ , pak  $T_1 > T_2$ .



**Obr. 2** Vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou

Teplo se v tomto případě přenáší podle Fourierova zákona:

$$Q = S * \tau * \lambda * \frac{T_1 - T_2}{\delta} \quad (1)$$

Množství tepla prošlého plochou stěny za jednotku času se nazývá hustota tepelného toku. Pro jeho výpočet se využívá tento vztah:

$$\phi = \frac{Q}{S * \tau} = \lambda * \frac{T_1 - T_2}{\delta} \quad (2)$$

Kde:

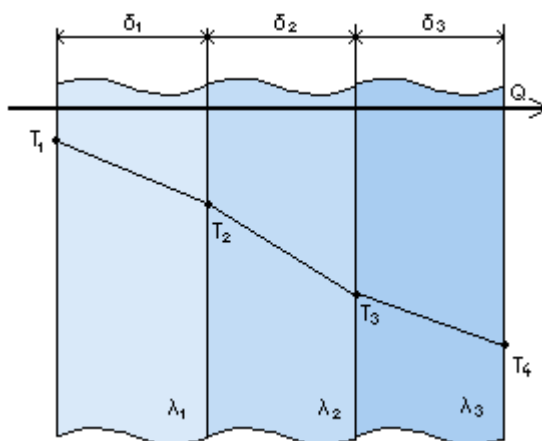
$\phi$	hustota tepelného toku	[Wm <sup>-2</sup> ]
$Q$	je množství tepla prošlého stěnou	[W]
$S$	plocha stěny, přes kterou teplo prochází	[m <sup>2</sup> ]
$\tau$	doba průchodu tepla stěnou	[s]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
$T_1$	teplota stěny, na kterou teplo působí	[°C]
$T_2$	teplota vnějšího povrchu stěny	[°C]
$\delta$	tloušťka stěny	[m]

Z uvedené rovnice je zřejmé, že sdílení tepla vedením je tím větší, čím nižší je teplota předmětu, s nímž přichází osoba v oděvu do styku, a čím větší je styčná plocha a menší tloušťka kompletu vrstev oděvu.

Příkladem jednoduché rovinné stěny, kterou prochází teplo vedením může být např. jedna vrstva přiléhajícího textilního materiálu (triko) na povrch lidského těla, která z něj odnímá teplo kontaktním způsobem.

- Vedení tepla složenou rovinnou stěnou

Uvažujme rovinnou stěnu, složenou z několika různorodých vrstev těsně na sebe přiléhajících, o tloušťkách  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  až  $\delta_n$  a tepelných vodivostech  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  až  $\lambda_n$ . Jsou také známy stálé povrchové teploty stěny  $T_1$  a  $T_4$ . Bude-li  $T_1 > T_4$ , pak je zřejmé, že teplo bude na stěnu působit v kladném směru osy  $x$ . Teploty na rozhraní jednotlivých vrstev nejsou známy, ale mají společnou hodnotu pro stýkající se vrstvy vzhledem k těsnému přiléhání na sebe.



**Obr. 3** Vedení tepla složenou rovinnou stěnou

Při stacionárním průtoku tepla je tepelný tok stálý a má tutéž hodnotu pro všechny vrstvy. Proto podle rovnice (2) je možné odvodit množství hustoty tepelného toku prošlého  $n$ -tou vrstvou stěny:

$$\Phi = \lambda_n * \frac{T_n - T_{n+1}}{\delta_n} \quad (3)$$

Důsledkem tohoto vztahu je tepelný tok pro celou složenou stěnu:

$$\Phi = \frac{T_1 - T_{n+1}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (4)$$

Kde:

$\Phi$	hustota tepelného toku	[Wm <sup>-2</sup> ]
$T_n$	teplota stěny, na kterou teplo působí	[°C]
$T_{n+1}$	teplota vnějšího povrchu stěny	[°C]
$\delta_i$	tloušťka stěny i-té vrstvy	[m]
$\lambda_i$	součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]

Klasickým příkladem složené stěny je soustava vrstev oděvu. Teplo je produkováno člověkem a prochází postupně od těla, přes vrstvy oděvu, kde je postupně uvolňováno.

### 1.3.1.2 Vedení tepla válcovou stěnou

- Vedení tepla jednoduchou válcovou stěnou

Předpokládejme válcovou stěnu délky  $l$ , s vnitřním poloměrem  $r_1$  a vnějším poloměrem  $r_2$  ( $r_1 < r_2$ ), tepelnou vodivostí  $\lambda$  a povrchovými teplotami  $T_1$  (vnitřní) a  $T_2$  (vnější), přičemž  $T_1 > T_2$ . Nechť teplo působí od osy válce směrem ven. Pokud se vytkne ve vzdálenosti  $x$  od osy válce tenká vrstva tloušťky  $dx$ , pak množství tepla procházející touto vrstvou pro stacionární vedení tepla, je podle Fourierova zákona:

$$Q = 2\pi \cdot x \cdot l \cdot \tau \cdot \lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad (5)$$

Kde:

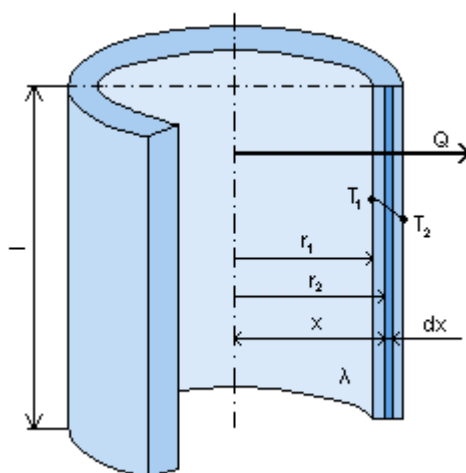
$Q$	je množství tepla prošlého stěnou	[W]
$2\pi x l$	plocha stěny, přes kterou teplo prochází	[m <sup>2</sup> ]
$\tau$	doba průchodu tepla stěnou	[s]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]

Vztah pro výpočet hustoty tepelného toku lze pak vyjádřit vztahem:

$$\phi = \frac{Q}{l \cdot \tau} = \lambda \cdot 2\pi \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (6)$$

Kde:

$\phi$	hustota tepelného toku	[Wm <sup>-2</sup> ]
$Q$	je množství tepla prošlého stěnou	[W]
$\tau$	doba průchodu tepla stěnou	[s]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
$l$	délka stěny válce	[m]
$r_1, r_2$	poloměr vnitřní, vnější strany válce	[m]
$T_1$	teplota stěny válce, na kterou teplo působí	[°C]
$T_2$	teplota vnější stěny povrchu válce	[°C]



**Obr. 4** Vedení tepla jednoduchou válcovou stěnou

- Vedení tepla složenou válcovou stěnou

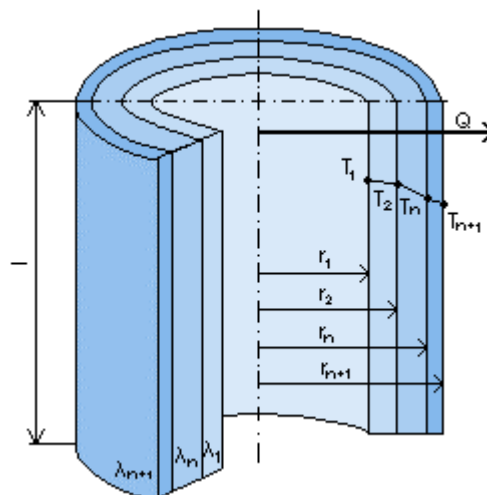
Je-li válcová stěna složena z  $n$  vrstev těsně na sebe naléhajících, o poloměrech  $r_n < r_{n+1}$ , tepelných vodivostech  $\lambda_n$  až  $\lambda_{n+1}$  a povrchových teplotách  $T_n > T_{n+1}$  (teplo se šíří od středu válce), pak hustotu tepelného toku, při stacionárním průchodu tepla vedením touto stěnou, vyjadřuje rovnice:



$$\phi = \frac{T_1 - T_{n+1}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} \quad (7)$$

Kde:

$\phi$	hustota tepelného toku	$[\text{Wm}^{-2}]$
$\delta_i$	tloušťka stěny i-té vrstvy	$[\text{m}]$
$\lambda_i$	součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$
$T_1$	teplota vnitřní stěny válce	$[\text{°C}]$
$T_{n+1}$	teplota vnější stěny válce	$[\text{°C}]$
$r_i, r_{i+1}$	poloměry stran i-té vrstvy válce	$[\text{m}]$

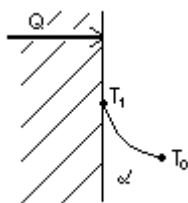


**Obr. 5** Vedení tepla složenou válcovou stěnou

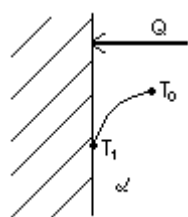
### 1.3.2 Konvekce

Konvekce zahrnuje pochody výměny tepla mezi plynnými či kapalnými látkami a tuhými tělesy, přičemž rozlišujeme volné sdílení tepla (vyvolané rozdílem teplot) a nucené sdílení tepla prouděním (způsobené nuceným pohybem, např. pomocí ventilátoru, větru atd.).

Teplo se tak šíří současně přestupem z teplejšího média do tuhého tělesa (obr. b), kde šíří vedením a z tohoto tělesa přestupuje do chladnějšího média (obr. a), jenž představuje kapalinu nebo plyn. [4]



a) Přestup tepla ze stěny do kapaliny (plynu)



b) Přestup tepla z kapaliny (plynu) do stěny

**Obr. 6** Konvekční způsob sdílení tepla

Množství takto odvedeného tepla je dáno vztahem:

$$Q = S * \tau * \alpha * (T_1 - T_o) \quad (8)$$

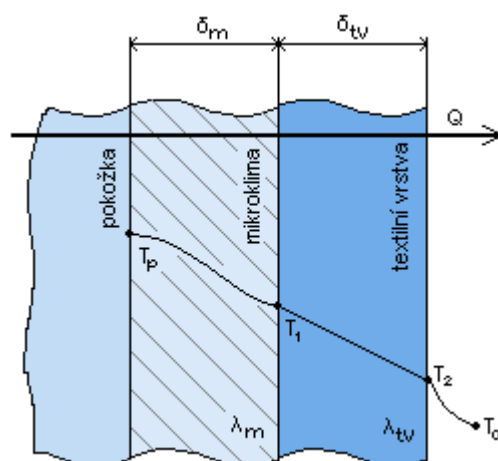
V důsledku tohoto vztahu je pak hustota tepelného toku:

$$\phi = \alpha * (T_1 - T_o) \quad (9)$$

Kde:

$Q$	množství odvedeného tepla	[W]
$\phi$	hustota tepelného toku	[Wm <sup>-2</sup> ]
$S$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$\tau$	doba přestupu tepla stěnou	[s]
$\alpha$	součinitel přestupu tepla	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$T_1$	teplota povrchu stěny	[°C]
$T_o$	teplota okolí	[°C]

Tento způsob sdílení tepla mezi organismem a textilní vrstvou se vyskytuje velmi často. Mezi pokožkou a vrstvou oděvu se nachází tzv. mikroklima (vzduchová vrstva), ve které dochází k částečnému proudění a poklesu teploty. Proudění vzduchu v mikroklimatu závisí na tloušťce této vrstvy a na pohybu organismu.



**Obr. 7** Konvekční způsob sdílení tepla mezi organismem a textilní vrstvou

### 1.3.3 Radiace

Mezi organismem a okolním prostředím probíhá během životních pochodů sdílení tepla radiací (sáláním, zářením), jelikož se v každém zahřátém tělese vždy přeměňuje část tepelné energie na energii zářivou. Ta se přenáší elektromagnetickým vlněním různé délky vlny. Zvláštností je, že k šíření nevyžaduje žádné hmotné prostředí. Zářivá energie se šíří ve vzduchoprázdném prostoru rychlostí světla ( $c=2,9979 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-2}$ ), přičemž množství vyzářené energie tělesa závisí na velikosti jeho plochy a teplotě. [7]

Při malém rozdílu teplot, jaký nastává při nošení oděvu, je možné rovnici pro stanovení množství sálavého tepla napsat ve tvaru:

$$Q_s = \alpha_s * S_s * (T_1 - T_2) \quad (10)$$

Kde:

$Q_s$	sálavé teplo	[W]
$\alpha_s$	součinitel tepla sáláním	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$S_s$	plocha těla, ze kterého teplo sálá	[m <sup>2</sup> ]
$T_1$	teplota povrchu těla	[°C]
$T_2$	teplota povrchu okolních těles	[°C]

Sálání je přirozenou vlastností všech těles. Každé těleso nepřetržitě vyzařuje energii. Dopadající zářivá energie může být tělesem jednak odražena, propuštěna a jednak pohlcena. Pokud těleso vykazuje pouze jeden z těchto jevů, pak se jedná o:

- dokonale černé těleso - pohlcuje veškerou dopadající energii
- dokonale bílé (zrcadlové) těleso - odráží veškerou dopadající energii
- dokonale průteplivé (diatermní) těleso - propouští všechnu dopadající energii.

Ve skutečnosti ovšem jednotlivá dokonalá tělesa neexistují, ale mají všechny tyto vlastnosti, nebo pouze některé z nich. [6,7]

### 1.3.4 Evaporace

V teplém prostředí může probíhat sdílení tepla odpařováním vlhkosti a potu. Z organismu dochází ke ztrátám vlhkosti z povrchu pokožky a horních cest dýchacích. Odparné teplo je závislé na měrném výparném skupenském teple a na rozdílu parciálních tlaků vodních par a je dáno vztahem:

$$Q_o = si * m_k * S * (P_k - P_t) \quad (11)$$

Kde:

$Q_o$	odparné teplo	[W]
$si$	měrné výparné skupenské teplo	[W]
$m_k$	permeabilita kůže	[kg S <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> Pa <sup>-1</sup> ]
$S$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$P_k$	parciální tlak vodních par na povrchu kůže	[Pa]
$P_t$	parciální tlak vodních par na povrchu textlie	[Pa]

Množství odparného tepla závisí na fyzické aktivitě organismu, na meteorologických podmínkách a na vhodnosti oděvu. Pokud tyto aspekty nebrání ve sdílení tepla evaporací, může být zajištěna tepelná rovnováha. V opačném případě dochází ke stoupající akumulaci tepla v organismu (to může být zapříčiněno vlivem vysokého parciálního tlaku vodních par v ovzduší nebo použitím neprodyšného oděvu).

[6]

### 1.3.5 Respirace

Dalším způsobem odvodu tepla z organismu je respirace. Je uskutečňována dýchacími cestami, proto je nazývána také dýcháním. Velikost odvedeného tepla je dána rozdílem množství vodních par vdechovaných a vydechovaných, jak ukazuje následující vztah:

$$Q_{\Delta} = \Delta i * (W_{ex} - W_a) * 1 / \tau \quad (12)$$

Kde:

$Q_{\Delta}$	respirační teplo	[W]
$\Delta i$	měrné skupenské výparné teplo	[W]
$W_{ex}$	množství vodních par vdechovaných	[kg]
$W_a$	množství vodních par vydechovaných	[kg]
$\tau$	čas	[s]

Teplo se přenáší z vyšší teploty na nižší všemi pěti způsoby současně a podílí se na fyzikální termoregulaci organismu.

Celkové množství tepla, jež projde od organismu přes textilní vrstvy do okolního prostředí, je součtem všech způsobů průchodů tepla:

$$Q_C = Q_{kond} + Q_{konv} + Q_{rad} + Q_{evap} + Q_{resp} \quad (13)$$

Kde:

$Q_c$	celkové množství tepla	[W]
$Q_{kond}$	sdílení tepla kondukcí	[W]
$Q_{konv}$	sdílení tepla konvekcí	[W]
$Q_{rad}$	sdílení tepla radiací	[W]
$Q_{evap}$	sdílení tepla evaporací	[W]
$Q_{resp}$	sdílení tepla respirací	[W]

Velikost jednotlivých složek sdílení tepla závisí na podmínkách vedoucích k vyvážení rovnovážného stavu organismu, pak většinou některé způsoby převažují nad ostatními a některé jsou potlačeny.

V podmínkách tepelné pohody a ochlazení tvoří největší podíl tepelné ztráty konvekcí a radiací (73 – 88 %). V podmínkách vedoucích k přehřátí organismu, převažuje sdílení tepla evaporací. Kondukční tepelné ztráty ovlivňuje plocha, se kterou přichází osoba do styku.

[6, 16]

## 2. Studie faktorů při sdílení tepla

---

Pro hodnocení průchodu tepla je třeba se zabývat faktory, jež ovlivňují výsledky jednotlivých velikostí produkce, odvodu a průchodu tepla mezi organismem a okolním prostředím. Ve své podstatě se jedná o tři složky, ze kterých a mezi kterými je teplo transportováno. Jsou to:

- faktory lidského organismu
- soustava jednoho či více oděvních materiálů pokrývajících lidský organismus
- okolní prostředí v němž se organismus vyskytuje.

Všechny tyto faktory nelze chápat izolovaně, neboť jeden ovlivňuje ostatní. Jsou subjektivní, závisí na fyzickém a duševním stavu každého jedince.

### 2.1 Faktory nezbytné pro hodnocení sdílení tepla a jejich ovlivňující činitelé

#### 2.1.1 Organismus

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, dochází v lidském organismu k nepřetržité tvorbě tepla a následkem toho k vyrovnávání tepelných rozdílů, mezi ním a okolím tak, aby byl udržován fyziologický komfort organismu - stav, v němž jsou fyziologické funkce v optimu a který je vnímán jako pohodlí.

Tvorba tepla je závislá na fyzické zátěži organismu, na jeho činnosti, pohlaví, věku, ploše těla atd. Ženy mají nižší tepelnou produkci než muži. Také s narůstajícím věkem se množství tepla vytvářeného organismem snižuje.

V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty o změnách tepelné produkce organismu v závislosti na jeho činnosti, vyjádřeny jako tepelný výkon (W) .

**Tab. 1** Tvorba tepla v závislosti na činnosti organismu dle [1]

Činnost organismu	Tvorba tepla [W]
klid na lůžku	81,4
stoj	116,3
lehká fyzická práce	197,7
chůze 5 km/h	314,0
těžká fyzická práce	348,9
běh	918,7

Z tabulky je zřejmé, že největší množství produkovaného tepla je při namáhavé činnosti organismu.

Velikost vytvářeného tepla organismem, má vliv na jeho *tepelný stav*. Ten je charakterizován tepelným komfortem (pohodou), či diskomfortem (nepohodou), jejímž ukazatelem je teplota povrchu těla (pokožky).

Tepelný komfort a teplota pokožky spolu úzce souvisí. Změní-li se velikost teploty pokožky o určitou hodnotu ( $\pm 2$  °C), pak dochází ke změně tepelného stavu organismu a nastává pocit diskomfortu. Dojde-li ke změně teploty pokožky pod nebo nad hranici snášenlivosti, může dojít po určité době ke zkolabování organismu, odumírání buněk atd.

Následující tabulka uvádí hodnoty teploty pokožky, odpovídající různým subjektivním tepelným pocitům člověka ve stavu fyzického klidu.

**Tab.2** Teploty pokožky a tepelné pocity člověka ve stavu fyzického klidu dle [6]

TEPLOTA POKOŽKY [°C]						
<i>Diskomfort</i>			<i>Komfort</i>	<i>Diskomfort</i>		
Velmi horko	Horko	Teplo	Pohoda	Chladno	Zima	Velká zima
nad 36,0	$36,0 \pm 0,6$	$34,9 \pm 0,7$	$33,2 \pm 1,0$	$31,1 \pm 1,0$	$29,1 \pm 1,0$	pod 28,1

#### Pocit komfortu - pohoda

*Pohoda* - stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s teplotním klimatem a který vychází ze subjektivního hodnocení.



### Pocit diskomfortu - teplo

*Teplo* - lokální pocity zvýšeného tepla, doprovázené počínajícím pocením.

*Horko* - prohlubující se pocity tepla po celém těle. Pot vyrazí kromě oblastí s nejvyšší hustotou potních žláz i na dalších místech těla.

*Velmi horko* - pocit se projevuje při celkovém přehřátí organismu, provázeném maximální intenzitou pocení a ztíženým dýcháním.

### Pocit diskomfortu - chlad

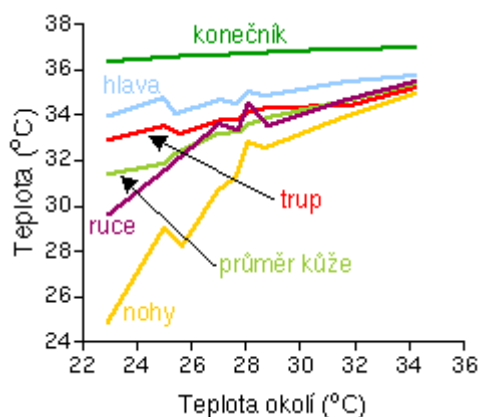
*Chladno* - lokální mrazení na periferních místech těla.

*Zima* - projevuje se pocity mrazení na celém těle, dostavuje se současně chvění těla, smršťuje se pokožka.

*Velká zima* - celkové hluboké podchlazení, které ochromuje pohyb končetin. Nastává strnutí rukou a nohou, dostavuje se šok z chladu. Setrvání v tomto stavu přináší i smrt.

Teplota pokožky se na různých částech povrchu těla liší (rozdíly jsou dány zvláštnostmi systému krevního oběhu) a to jak v průběhu doby, tak v závislosti na teplotě okolí (viz obr. 8), činnosti organismu, pohlaví, věku a mnoha dalších faktorech.

Nejvyšší teploty, 35 - 36 °C, se vyskytují v dobře prokrvených oblastech, jako je břicho, hrudník, hlava. Naopak nejnižší teploty povrchu těla dosahují pouze 29 – 30 °C a to v oblasti horních a dolních končetin.



**Obr. 8** Teplota pokožky v závislosti na teplotě okolí dle [8]

Pro výpočet celkového množství průchodu tepla mezi organismem a okolím, se vychází ze střední hodnoty teplot jednotlivých částí těla. Pro navrhování oděvu je však nutné zohledňovat teploty na určitých místech proto, aby byl zajištěn potřebný tepelný komfort všech částí těla. [6, 12]

### 2.1.2 Oděv

Oděv pomáhá lidskému organismu udržovat tepelnou rovnováhu a dává mu pocit pohodlí. Představuje soustavu, skrze kterou dochází k průchodu tepla. Teplo se mezi oděvními vrstvami šíří dvěma směry, v závislosti na teplotě organismu a okolí:

- směrem od těla (v případě, že teplota těla je vyšší než teplota okolí)
- směrem k tělu (v případě, že teplota okolí je vyšší než teplota těla).

V obou případech může být oděv považován za „tepelný izolant“, který chrání lidský organismus před chladnými či tepelnými vlivy okolního prostředí nebo předměty s nimiž přichází do styku.

*Tepelně izolační schopnosti oděvu* jsou ovlivňovány vlastnostmi jeho dílčích vrstev, na kterých se podílí vlákenné složení, makromorfologická struktura elementárních vláken a konstrukce textilie.

Veličinou charakterizující tepelnou izolaci je *tepelný odpor* (dále jen  $R$ ). Udává poměr teplotního rozdílu dvou míst a množství tepla mezi nimi převedeného za jednotku času.

Je značně závislý na vazbě textilie, která určuje tloušťku a prodyšnost jednotlivých vrstev textilního materiálu. Narůstá-li tloušťka materiálu, stoupá i jeho  $R$ , avšak při velké prodyšnosti materiálu nemá textilie vyšší tepelně izolační vlastnosti, ani při značné tloušťce.

Tloušťka, prodyšnost a tedy i vazba textilie mají vliv na tepelnou vodivost materiálu (schopnost materiálu vést teplo), jejíž stupeň se vyjadřuje součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]. Jednotlivá vlákna vykazují odlišné hodnoty tepelných vodivostí (tab. 3) a předurčují tak vlastnosti textilních materiálů.

**Tab. 3** Hodnoty součinitelů tepelných vodivostí dle [17]

Oděvní vláknenný materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Jiné materiály	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
přírodní hedvábí	0,050	vzduch	0,024
vlna	0,054	voda	0,606
bavlna	0,071	led	2,442
viskóza	0,080	dřevo	0,04 - 0,35
polypropylen	0,172	polyuretanová pěna	0,03
polyester	0,218	hliník	229
polyamid	0,240	ocel	50
teflon	0,244	plast	0,233

Z tab. 3 vyplývá, že jednotlivé hodnoty součinitelů tepelných vodivostí vláken se od sebe výrazně neliší. Je také zřejmé, že všechna vlákna používaná pro oděvní textilie jsou špatnými vodiči tepla, a tedy tepelnými izolanty. Nejvyšší tepelnou vodivost vykazují kovy.

Z výše uvedených poznatků, je tepelný odpor tudíž dán vztahem:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad (14)$$

Kde:

$R$  tepelný odpor [m<sup>2</sup> KW<sup>-1</sup>]

$\delta$  tloušťka vrstvy [m]

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti [Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]

Tepelně izolační vlastnosti ovlivňuje také vlhkost.  $R$  textilních materiálů klesá se zvyšující se vlhkostí. To je snadno pozorovatelné i při každodenních činnostech. Promokne-li organismus na dešti nebo vlivem namáhavé činnosti, je mu ve vlhkém oblečení během několika minut chladno - oděv ztrácí izolační vlastnosti.

[6, 16]

### 2.1.3 Prostředí obklopující lidský organismus

Dalším neméně důležitým faktorem při hodnocení sdílení tepla, je okolní prostředí organismu, který ho obklopuje. Předurčuje pocity tepelného komfortu či diskomfortu organismu a tím i volbu oblékaného oděvního výrobku.

Za okolní prostředí člověka se může považovat jednak oděv, ve kterém je oblečen a jednak předměty se kterými je v kontaktu. Nejvyšší podíl v okolním prostředí člověka však tvoří „vzduch“. Ten je charakterizován teplotou.

Vzdušné prostředí představuje:

- zeměpisná poloha určité oblasti a s tím související klimatické podmínky
- prostor, ve kterém organismus tráví většinu dne a vytváří si zde optimální podmínky pro pobyt - vytápěná místnost .

V klimatickém prostředí České republiky se střídají čtyři roční období (jaro, léto, podzim, zima). Každé je přitom specifické svými průměrnými teplotami, jež se od sebe navzájem liší. Největší teplotní rozdíly se vyskytují mezi zimním a letním obdobím, kdy rozdíl mezi průměrnými teplotami činí až 18 °C. Následující tabulka udává průměrné teploty vzduchu jednotlivých ročních období v ČR za posledních osm let (1998-2005).

**Tab. 4** Průměrné teploty vzduchu ročních období v ČR dle [9]

Roční období	Jaro	Léto	Podzim	Zima
Průměrná teplota vzduchu [°C]	8,6	17,1	8,3	-0,4

V prostoru - místnosti, je člověk schopen si vytvářet teplotní podmínky jemu vyhovující, pomoci prostředků k tomu určených. Normované hodnoty teplot pro vnitřní prostory udává norma DIN 4701:

**Tab. 5** Teploty vnitřních prostor dle [10]

Místnost	Obývací pokoj	Ložnice	Dětský pokoj	Koupelna	Kuchyň
Teplota [°C]	20,0	20,0	20,0	24,0	20,0

Průměrná teplota vnitřních prostor činí podle této normy 20,8 °C. Lidí žije na světě mnoho, a proto existuje také řada názorů na tuto průměrnou hodnotu. Pro některé je vyhovující, pro jiné ne. Závisí tedy především na zvyklostech a možnostech každého jedince.

## **2.2 Vlastnosti oděvu zajišťující optimální životních funkce lidského organismu**

Na oděv jsou kladeny požadavky, vyvolány nutností zajistit optimální životní činnost člověka, které tvoří zejména: udržování optimálního tepelného stavu organismu, zabezpečení kožního dýchání, krevního oběhu, dýchání a pohybu.

Všechny oděvy musí tyto požadavky splňovat, avšak u odlišných typů oděvů není stejný stupeň jejich důležitosti. [6]

### **2.2.1 Oděvní komfort**

Představuje souhrn vjemů, složených z komplexu vlastností oděvu, vyvolávající příjemné pocity pohodlí během nošení. Oděvní komfort se dělí na dvě základní skupiny, a to:

- funkční komfort
- psychologický komfort.

#### **2.2.1.1 Funkční komfort**

Zahrnuje vlivy dané především vlastnostmi oděvního materiálu, které působí přímo na lidský organismus.

Funkční komfort je složen z fyziologického, senzorického a patofyziologického komfortu.

##### *Fyziologický komfort*

V oblasti oděvního výzkumu i z pohledu medicíny, představuje fyziologický komfort velice důležitou složku, kdy je oděv vnímán jako aktivní složka napomáhající termoregulačním procesům lidského organismu v daném prostředí. Tato složka se tedy

zabývá především otázkami ochrany proti chladu a teple zároveň, umožňující optimální transport vlhkosti skrze jednotlivé vrstvy oděvu.

### *Senzorický komfort*

Senzorický komfort zahrnuje vjemy získávané mechanickým a tepelným kontaktem pokožky s textilií.

#### *Mechanický kontakt:*

- závisí na povrchových vlastnostech textilie - omaku, jenž může vyvolat dráždění pokožky tzv. škrábáním, pícháním, může vyvolat pocit lepivosti (výsledek úrovně fyziologického komfortu - nedostatečný odvod vlhkosti z pokožky).
- je určován konstrukcí a velikostí oděvu (schopnosti oděvu zajišťovat dostatečnou volnost pohybu, přizpůsobovat se organismu podle potřeby a nebránit tím vykonávání důležitých životních funkcí organismu, jako je dýchání, plynulý krevní oběh aj.). Na komfort zabezpečující volnost pohybu a na vzniku kontaktního vjemu má také vliv váha a splývavost všech textilních vrstev.

#### *Tepelný kontakt:*

- vyvolávající pocity tepla a chladu při prvotním styku textilie a pokožky.

### *Patofyziologické vlivy*

Komfortní pocit při nošení oděvu může degradovat také výskyt toxických - alergizujících látek v textiliích. Ty mohou mít u jedinců za následek alergizující projevy pokožky.

#### **2.2.1.2 Psychologický komfort**

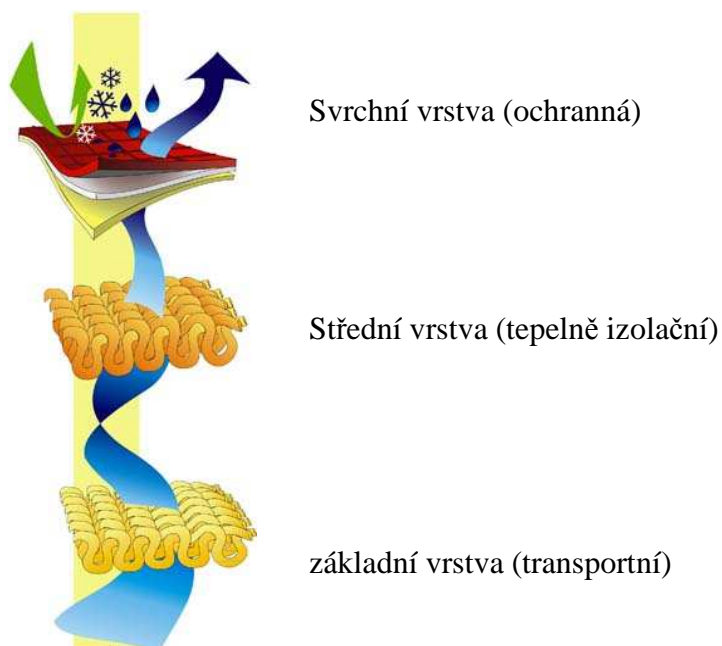
Tato složka komfortu zahrnuje a vyjadřuje individuální požadavky každého jedince (styl, módnost, pohodlnost, barva, střihové řešení ap.) na oděvní výrobek.

[11, 12]

### 2.2.2 Systém vrstveného oblékání

Jak již bylo uvedeno výše, je základní funkcí oděvního výrobku udržet organismus v optimální tepelné pohodě tak, aby bylo dosaženo tepla a zároveň sucha. To bude umožněno, pokud pot bude odváděn směrem ven od těla (v opačném případě bude oděv po chvíli nepříjemně chladit a organismus tak může snadno nastydnout). Zároveň je třeba mít dostatečnou tepelně izolační vrstvu a vrstvu ochraňující před nepříznivými venkovními vlivy. V ideálním případě se toho dosahuje tzv. funkčním systémem oblékání (viz obr. 9), tvořeným třemi vrstvami:

1. vrstva - transportní
2. vrstva - tepelně izolační
3. vrstva - svrchní (ochranná)



**Obr. 9** Systém vrstveného oblékání [13]

#### **1. vrstva – transportní**

Jedná se o první vrstvu funkčního systému oblékání, patří do ní speciální spodní prádlo. V celém systému oblečení je považováno za základní a nejdůležitější část. Jeho úkolem je transportovat kapalnou vlhkost (pot) a vodní páry dále od pokožky do další

textilní vrstvy nebo do prostoru, aby nevyvolávaly v uživateli nepříjemný pocit vlhkosti - chladu.

Vyrábí se ze syntetických vláken, která neabsorbují přijímanou vlhkost (jak je tomu u přírodních vláken), ale odvádí ji do dalších vrstev tzv. knotovým efektem. Výhodou funkčního prádla je také to, že rychle usychá.

Na českém trhu se dnes vyskytuje několik domácích a zahraničních značek, které vyrábějí prádlo ze dvou základních syntetických materiálů - PP a PES, jsou to např. 2F, Craft, Klimatex, Sensor, Moira.

## **2. vrstva - tepelně izolační**

Jejím primárním úkolem je omezit ztrátu tepla. Musí být ovšem potřebně prodyšná, aby bránila kondenzaci vlhkosti a vodních par mezi jednotlivými textilními vrstvami. Tím dokonale navazuje na činnost spodního prádla a pokračuje v odvodu vlhkosti.

Ve dnech letních a jarních, kdy je používána zároveň jako svrchní vrstva, je důležitá také její větruvzdornost. Většina textilních materiálů však nechrání proti větru dostatečně, proto nabízejí někteří výrobci oděvy v kombinaci s větruodolnou membránou (Windstopper, No wind ap.). Tím už přebírá druhá vrstva úkoly vrstvy třetí.

## **3. vrstva – svrchní (ochranná)**

Na třetí vrstvu je kladen požadavek dokončit funkční řetězec systému vrstveného oblékání, tedy odvést tělesnou vlhkost a vodní páry, které byly transportovány přes první a druhou vrstvu oděvu, definitivně pryč od organismu - do vnějšího prostředí.

Po svrchní (ochranné) vrstvě je požadována ochrana proti nepříznivým vnějším klimatickým vlivům, jako jsou vítr, déšť, sníh ap. Musí být také prodyšná, aby nedocházelo ke kumulaci vlhkosti ve spodních vrstvách oděvu. Což jsou požadavky zdánlivě protichůdné. Přesto existuje řada materiálů (Gore Tex, Sympatex, Climatic aj.), které dokáží těmto vlivům vyhovět, vždy ale jen do určité míry.

Je důležité dodržovat zásady vrstveného oblékání, pro dosažení co nejlepších výsledků. Vrstvy mezi sebou navzájem spolupracují a vytvářejí tak společný, doplňující se komplex. Porušení vrstveného systému, oblečením nesprávné kombinace určitého typu vrstvy, se naruší vzájemný soulad a spolupráce mezi vrstvami a nemůže být dosaženo požadovaného komfortu.

[14, 15]



### 3. Zkoumané oděvní materiály

---

Z široké škály používaných druhů oděvních materiálů (společenské, vycházkové, domácí, pracovní materiály...) byl pro hodnocení vybrán materiál pro výrobu sportovních oděvů. Jednak proto, že textilie pro sportovní oděvy získávají v posledních letech, díky modifikacím dosavadních vlákenných surovin a útvarů, nové užité a tím i fyziologické vlastnosti. V neposlední řadě se sportu věnuje stále širší spektrum veřejnosti, ať už jím vyplňují volný čas nebo se mu věnují ve větší míře. K takovým lidem patřím i já, vývoj nových sportovních materiálů s nadšením sleduji, jsem také jejich uživatelem, a proto jsem si tento druh materiálů pro zkoumání jejich tepelných vlastností vybrala.

Za účelem zvýšení tepelně izolačních schopností soustavy, byly oděvní produkty doplněny vrstvou materiálů, používaných pro výrobu spacích pytlů. Tato vrstva se stává důležitým prvkem ochrany před chladem, zejména pro osoby s tělesným postižením, upoutaných na vozíček.


Vzorky sportovních funkčních materiálů mi poskytly firmy: **BoBo, výroba oděvů, s.r.o. Praha, Tilak, a.s. Šumperk** a vzorky materiálů používaných na výrobu spacích pytlů mi poskytla firma **Prima Outdoor, s.r.o. Brno**.

Kompletní seznam vzorků materiálů je obsažen v příloze č. 1, která je samostatná. Zde jsou uvedeny pouze vybrané materiály, jež byly měřením vyhodnoceny za optimální (podle systému oblékání ve vrstvách, s nejlepšími tepelně izolačními schopnostmi). Vzorky jsou zde číslovány tak, v jakém pořadí se nacházejí v příloze.

V příloze č. 1, v páté části, se nachází také komplexní složené souvrství, níže popsanych oděvních materiálů.



**Tab. 7** Parametry vzorku č. 11


Parametry textlie	
Složení	vnější materiál - 100% Polyester membrána - 100 % Polytetrafluoretylen vnitřní materiál - 100% Polyester
Struktura	laminovaná třívrstvá pletenina
Hmotnost	490 g/m <sup>2</sup>
Tloušťka	7,28mm
Měrná tepelná vodivost	0,0343 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Plošný odpor vedení tepla	0,201 m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup>
Použití	bundy
Údržba	

**Vzorek č. 22 GTX® Chandra XCR™**

Materiál Gore-tex (dále jen GTX) - GTX® XCR™, se speciálně vyvinutou membránovou technologií. Vykazuje o 25% vyšší prodyšnost, než klasický GTX. Vyniká vysokou mechanickou odolností, při zachování nízké hmotnosti. Oblečení z třívrstvého laminátu vyniká svou odolností. [20]

Vzorek poskytla firma Tilak, a.s.

**Tab. 8** Parametry vzorku č. 22






Parametry textlie	
Složení	vrchový materiál -100 % Polyamid membrána - 100 % Polytetrafluoretylen podšívka - 100 % Polyamid
Struktura	laminovaná třívrstvá tkanina
Hmotnost	180 g/m <sup>2</sup>
Tloušťka	0,39 mm
Měrná tepelná vodivost	0,0385 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Plošný odpor vedení tepla	0,0101 m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup>
Použití	bundy, kalhoty
Údržba	

**Vzorek č. 25 Meryl**

Mikrovláknový materiál používaný jako vnější ochrana spacích pytlů, proti nepříznivým povětrnostním vlivům, jako je vítr, déšť, sníh aj. *Meryl* je pevná, jemná, větruvzdorná a vodoodpudivá syntetická textilie, zpevněná v osnově i v útku zesílenými vlákny (Ripstop), které zvyšují její pevnost. [21]

Vzorek poskytla firma Prima Outdoor, s.r.o.

**Tab. 9** Parametry vzorku č. 25






Parametry textilie	
Složení	100% Polyamid (40D 240 Taffeta Ripstop W/R W/P Micro Soft Nylon)
Struktura	tkanina
Hmotnost	70 g/m <sup>2</sup>
Tloušťka	0,1 mm
Měrná tepelná vodivost	0,0223 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Plošný odpor vedení tepla	0,0045m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup>
Použití	vrchové materiály spacích pytlů
Údržba	    

**Vzorek č. 27 Nylon 190**

Pevná a vodoodpudivá syntetická textilie, používaná jako vnitřní materiál spacích pytlů.

Vzorek poskytla firma Prima Outdoor, s.r.o.

**Tab. 10** Parametry vzorku č. 27






Parametry textilie	
Složení	100% Polyamid (Nylon 190 T)
Struktura	tkanina
Hmotnost	60 g/m <sup>2</sup>
Tloušťka	0,08 mm
Měrná tepelná vodivost	0,0203 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Plošný odpor vedení tepla	0,004m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup>
Použití	vnitřní materiály spacích pytlů
Údržba	    

**Vzorek č. 29 Fobos**

Představuje termicky pojenou tepelnou izolaci spacích pytlů firmy Fibertex, a.s.

Vzorek poskytla firma Prima Outdoor, s.r.o.

**Tab. 11** Parametry vzorku č. 29

Parametry textilie	
Složení	100% Polyester
Struktura	netkaná textilie
Hmotnost	110 g/m <sup>2</sup>
Tloušťka	6,93 mm
Měrná tepelná vodivost	0,373 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Plošný odpor vedení tepla	0,186 m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup>
Použití	tepelně izolační rouna spacích pytlů
Údržba	    

## 4. Analýza kondukčního průchodu tepla oděvní vrstvou

---

Praktická část se zaměřuje na návrh oděvního výrobku pro chladné a teplé prostředí, přičemž je uvažováno sdílením tepla kondukcí, mezi pokožkou a jednotlivými vrstvami materiálů. Ke kondukčnímu způsobu přenosu tepla dochází pouze za určitých podmínek. Ty představuje fakt, že jednotlivé vrstvy, kterými teplo prochází jsou v bezprostředním kontaktu.

Jelikož z povrchu oděvního materiálu se teplo šíří do okolního prostředí konvekcí (protože se jedná o dva různorodé materiály - pevnou a plynnou látku), bylo nutno počítat i s tímto způsobem přenosu tepla.

Z důvodu velmi obtížného zajištění nestacionárních podmínek při měření, ke kterým během šíření tepla u oděvních textilií dochází, bylo při výpočtech použito stacionárních metod, tzn. ustáleného termokinetického děje.

Na základě předběžných výpočtů (viz příloha č. 2), lze volbu oděvního výrobku navrhnout pomocí stanovení změny teplot na rozhraní jednotlivých vrstev textilních materiálů, a to několika možnými variantami a postupy:

- 1) Vyhodnocení nejlepších tepelně izolačních schopností zkoumaných materiálů na základě měření jejich tepelných vlastností (viz příloha č. 3) a stanovení příslušné teploty, pro kterou daná kombinace materiálů přísluší, při dodržení komfortního pocitu teploty pokožky.
- 2) Určení vhodné kombinace oděvních materiálů (jejich tepelně izolačních schopností) v závislosti na teplotě okolí, při komfortním pocitu teploty pokožky. Tento způsob je možno použít, pokud je k dispozici dostatečné množství materiálů, ze kterých by bylo možné příslušný oděv zhotovit a pokud by měly dostačující tepelně izolační schopnosti.

Pro tyto dva způsoby je společná možnost stanovení průměrných tepelně izolačních hodnot. To však nebude zcela přesné a vyhovující, jelikož jednotlivé části těla vyžadují odlišnou tepelnou izolaci.

V následující kapitole jsou použity kombinace všech výše uvedených možností. Jednotlivé varianty se sebou souvisí, a tak je docíleno daného postupu, jak navrhnout optimální řešení oděvního výrobku pro chladné nebo teplé prostředí, přičemž je uvažováno šíření tepla kondukcí, mezi oděvními vrstvami a komfortní stav teploty pokožky.

Pro řešení bylo nutno stanovit následující vstupní údaje:

***Množství vytvářeného tepla.*** Zjišťuje se speciálními metodami, kdy se pokusné soby umisťují do biokolorimetrické komory. Velikost tepla se liší pohlavím, věkem, druhem fyzické aktivity atd. Pro výpočty byly použity hodnoty z tab. 1 dle literatury [1].

***Velikost plochy lidského těla.*** Byla stanovena experimentálně, měřením jednotlivých částí probanda o výšce 173 cm, hmotnosti 68 kg a věku 21 let, aproximovaných do geometrických obrazců. Pomocí matematických vztahů byla vypočtena plocha jednotlivých částí a jejich součtem byla určena celková plocha lidského těla (viz příloha č. 4). Velikost plochy lidského těla se podílí na množství hustoty tepelného toku.

***Velikost hustoty tepelného toku.*** Je rovna podílu vytvořeného tepla organismem při různé fyzické činnosti, k velikosti jeho povrchu. Při stejné fyzické aktivitě organismu a vyšších hodnotách plochy lidského těla, se jeho velikost snižuje.

Při výpočtech bylo uvažováno s konstantní hodnotou hustoty tepelného toku, to znamená, že hodnota byla stejná při průchodu jakoukoli vrstvou materiálu.

***Teplota pokožky organismu.*** Je třeba rozlišovat dvě hodnoty teplot pokožky. Průměrná teplota dává představu o vnímaném tepelném pocitu komfortu či diskomfortu, avšak místní tepelné pocity jsou podmíněny teplotou kůže příslušných částí těla. Údaje o teplotě pokožky se získávají přímým měřením osob, pomocí kontaktních či bezkontaktních metod měření.

Teplota pokožky se mění v závislosti na mnoha faktorech (např. množství tepla produkovaného organismem, teplota okolí, část těla, druh oděvu, psychický stav organismu). Tato situace je nestacionární a pro stacionární podmínky bylo pro výpočty

použito tabulkových hodnot, které byly získány experimentálním měřením osob zasazených do příslušných podmínek. Potřebné údaje o komfortních teplotách, používané při výpočtech, jsou uvedeny v příloze č. 5, v tab. 1.

***Tepelné vlastnosti materiálů*** (tepelná vodivost, tloušťka, tepelný odpor). Všechny tyto vlastnosti byly zjištěny měřením na přístroji Alambeta (viz příloha č. 3). Vlivem jiného tlaku, který působí na materiál během kondukce, se jeho tloušťka může měnit, tím by došlo také ke změně tepelného odporu. Proto bylo ve výpočtech uvažováno s konstantními hodnotami tloušťky textilních materiálů a to za přítlaku měřicí hlavice přístroje 400 Pa.

***Součinitel přestupu tepla.*** Závisí na rychlosti proudění vzduchu, jenž je vyvolán činností organismu. Pro výpočet byly použité tabulkové hodnoty součinitele přestupu tepla  $\alpha$  (viz tab. 2, v příloze č. 5).

#### **4.1 Stanovení změny teplot při šíření tepla kondukcí, pro výpočet příslušné teploty okolí optimálního oděvního souvrství**

##### **Postup:**

1) Měřením na přístroji Alambeta byly zjištěny tepelné vlastnosti jednotlivých oděvních materiálů (viz příloha č. 3). Z naměřených údajů byly vybrány materiály s nejlepšími tepelně izolačními schopnostmi, splňující podmínky systému vrstveného oblékání.

Nejoptimálnější soustava vrstev materiálů byla doplněna vrstvou spacího pytle, za účelem zvýšení celkového  $R$ , což umožňuje celou soustavu materiálů použít pro chladnější teplotu okolního prostředí (dále jen  $T_o$ ).



**Tab. 12** Vyhodnocené optimální materiály a jejich vlastnosti

Název měřeného materiálu	Číslo vzorku v katalogu	Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Tloušťka materiálu $\sigma$ [mm]	Plošný odpor vedení tepla $R$ [m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup> ]	Číslo vrstvy	Teplota na povrchu vrstvy $T_t$ [°C]
2F Plyš Arktik	5	0,0491	1,54	0,0313	2	33,0
Windstopper® Antarctica	11	0,0343	7,28	0,201	3	23,76
GTX® Chandra XCR™	22	0,0385	0,39	0,0101	4	23,3
Meryl	25	0,0223	0,1	0,0045	5	23,09
Fobos	29	0,0373	6,93	0,186	6	14,81
190 Nylon	27	0,0203	0,08	0,004	7	14,64

2) Z tab. 1, byla stanovena celková tepelná produkce organismu, při minimální fyzické námaze, tj. klid na lůžku, kdy  $Q_{celk}$  je rovna 81,4 W.

Tato hodnota byla vybrána účelně, neboť právě v leže dochází k bezprostřednímu styku ploch jednotlivých vrstev oděvních materiálů, a to je požadavek kondukčního způsobu sdílení tepla mezi organismem a okolním prostředím.

Při klidu na lůžku (ležení) jsou styčné plochy jednotlivých vrstev oděvu a pokožky ve tvaru rovinné stěny, proto bylo ve výpočtech uvažováno s šířením tepla rovinnou stěnou jednoduchou a složenou.

3) Z daného množství tepelné produkce, byla určena celková (průměrná) velikost hustoty tepelného toku (dále jen  $\Phi$ ), která je rovna poměru celkové tepelné produkce organismu  $Q_{celk}$  a celkové velikosti plochy lidského těla  $S_{celk}$ .

$$\Phi_{celk} = \frac{Q_{celk}}{S_{celk}} \quad (15)$$

$$\Phi_{celk} = \frac{81,4}{1,77} = 45,989 \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$$

Celková hustota tepelného toku organismu je 45,989 Wm<sup>-2</sup>.

4) Součtem tepelných odporů jednotlivých vrstev, byl vypočten tepelný odpor materiálů oděvu  $R_m$ :

$$R_m = \sum_{i=1}^n R_i \quad (16)$$

Kde:

$R_m$  tepelný odpor materiálů oděvu  $[\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$

$n$  počet vrstev materiálů

$R_i$  tepelný odpor i-té vrstvy  $[\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$

$$R_m = \sum_{i=1}^6 R_i = 0,4307 [\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$$

Tepelný odpor materiálů oděvu je  $0,4307 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ .

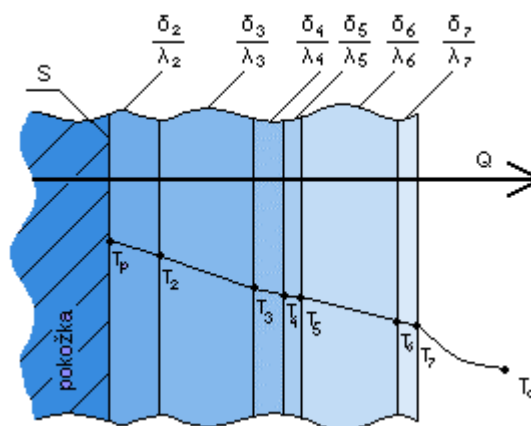
5) Následně byla vypočtena průměrná komfortní teplota pokožky  $T_{p_{pr}}$ , v závislosti na množství tepelné produkce  $Q_{celk}$  a velikosti plochy lidského těla  $S_{celk}$ .

$$T_{p_{pr}} = 36,07 - 0,0354 * \frac{Q_{celk}}{S_{celk}} \quad (17)$$

$$T_{p_{pr}} = 36,07 - 0,0354 * \frac{81,4}{1,77} = 34,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Průměrná komfortní teplota pokožky při fyzické činnosti klidu na lůžku je  $34,44^\circ\text{C}$ .

6) Stanovením poklesu teplot, byly vypočteny teploty na rozhraní jednotlivých vrstev souvrství, přičemž bylo uvažováno s šířením tepla směrem od povrchu těla do okolního prostředí. Z tohoto směru šíření tepla vyplývá, že teplota na povrchu textilie  $T_t$ , bude nižší než teplota povrchu pokožky  $T_{p_{pr}}$ . První teplota v souvrství  $T_1$ , je tedy rovna průměrné komfortní teplotě pokožky  $T_{p_{pr}}$  a poslední teplota  $T_7$ , je rovna teplotě na povrchu celého souvrství  $T_t$ .



**Obr. 11** Znáznornění průchodu tepla vrstvami materiálů

$$T_{n+1} = T_n - \left( \frac{\phi^* \delta_{n+1}}{\lambda_{n+1}} \right) \Rightarrow T_n - (\phi^* R_{n+1}) \quad (18)$$

$$T_2 = 34,44 - (45,989 * 0,0313) = 34,44 - 1,44 = 33^{\circ} C$$

$$T_3 = 33 - (45,989 * 0,201) = 33 - 9,24 = 23,76^{\circ} C$$

$$T_4 = 23,76 - (45,989 * 0,0101) = 23,76 - 0,46 = 23,3^{\circ} C$$

$$T_5 = 23,3 - (45,989 * 0,0045) = 23,3 - 0,21 = 23,09^{\circ} C$$

$$T_6 = 23,09 - (45,989 * 0,18) = 23,09 - 8,28 = 14,81^{\circ} C$$

$$T_7 = 14,81 - (45,989 * 0,0038) = 14,81 - 0,17 = 14,64^{\circ} C$$

7) Pomocí úpravy vztahu (9), pro přestup tepla z povrchu textilní vrstvy do okolního prostředí, byla vypočtena  $T_o$ , pro kterou je zvolená soustava materiálů optimální.

Jelikož činností organismu při klidu na lůžku není vyvoláno žádné proudění vzduchu ( $v = 0 \text{ ms}^{-1}$ ), byla ve výpočtech použita velikost součinitele přestupu tepla  $\alpha = 7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ .

$$T_o = T_t - \left( \frac{\phi^*}{\alpha} \right) \quad (19)$$

$$T_o = 14,64 - \left( \frac{45,989}{7} \right) = 14,64 - 6,57 = 8,07^{\circ} C$$

Optimální  $T_o$  pro danou soustavu vrstev, při zvolené tepelné produkci organismu, je  $8,07^{\circ} C$ .

8) Výpočet celkového tepelného odporu všech vrstev, podle:

$$R_{sum} = R_m + R_p = R_m + \frac{1}{\alpha} \quad (20)$$

Kde:

$R_{sum}$	celkový tepelný odpor všech vrstev	$[\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$
$R_m$	tepelný odpor materiálů oděvu	$[\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$
$R_p$	přestupní tepelný odpor, tj. odpor vůči přestupu z vnější plochy oděvu do okolního prostředí ( $R_p = 1/\alpha$ )	$[\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$

$$R_{sum} = 0,4307 + \frac{1}{7} = 0,5735 [\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$$

Velikost celkového tepelného odporu všech vrstev je  $0,5735 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ .

Stejné hodnoty  $T_o$  by bylo dosaženo také při výpočtech, vycházejících ze vztahu pro výpočet celkového tepelného odporu všech vrstev:

$$R_{sum} = \frac{T_p - T_o}{\Phi} \quad (21)$$

$$T_o = T_p - (R_{sum} * \Phi) = 34,44 - (0,5735 * 45,989) = 8,07 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dosavadním postupem výpočtu jednotlivých průměrných hodnot, byla zjištěna nejnižší  $T_o$ , pro jakou je možno ze zkoumaných materiálů navrhnout optimální oděvní výrobek, podle zásad vrstveného oblékání.

Bylo by možno sestavit oděv s jakýmkoli tepelným odporem, zvýšením počtu tepelně izolačních vrstev, ovšem takový oděv by pak omezoval životně důležité funkce organismu (pohyb, dýchání pokožky či krevním oběh), a tím by nesplňoval podmínky fyziologického a senzorického komfortu.

## 4.2 Stanovení změny teplot při šíření tepla kondukci, pro výpočet velikosti tepelného odporu oděvního souvrství jednotlivých částí těla

Následujícím postupem výpočtu byla stanovena velikost  $R$  soustavy vrstev materiálů, potřebného pro dostatečnou tepelnou izolaci jednotlivých částí lidského organismu, aby byl zajištěn jejich požadovaný tepelný komfort.

Je třeba podotknout, že použité hodnoty teplot pokožky jednotlivých částí těla byly tabulkové, zjištěné experimentálním měřením, odpovídající přesně stanoveným požadavkům (teplotám pokožky osoby, hodnotící své tepelné pocity jako pohodu).

### Postup:

1) Ze vztahu (9), pro výpočet přestupu tepla z okolního prostředí na povrch stěny materiálu, byla stanovena teplota na povrchu textilní vrstvy. Směr sdílení tepla je v tomto případě opačný a šíří se z okolního prostředí k povrchu těla.

Byla zde přitom použita hodnota  $T_o$ , vypočtená při hodnotách průměrné teploty pokožky, celkové hustoty tepelného toku a celkového tepelného odporu optimálních materiálů (viz bod 7 kapitoly 4.1).

$$T_t = T_o + \left( \frac{\Phi}{\alpha} \right)$$

$$T_t = 8,07 + \left( \frac{45,989}{7} \right) = 8,07 + 6,57 = 14,64^\circ\text{C}$$

Teplota na povrchu textilního souvrství činí  $14,64^\circ\text{C}$ .

Teplota na povrchu textilní vrstvy je totožná při obou směrech šíření tepla, což je samozřejmé, poněvadž bylo použito stejné velikosti  $T_o$ . Je také zřejmé, že tato teplota bude stejná na všech místech vnějšího povrchu souvrství, jelikož se ve všech případech jedná o přestup tepla z okolního prostředí na rovinnou stěnu a opačně. Proto byla dosazována do vztahu pro výpočet  $R$  jednotlivých částí těla.

**2)** Z výpočtů plochy lidského těla (viz příloha č. 4), byly stanoveny velikosti celkových ploch jednotlivých částí těla:

$$S_{\text{celéhlavy}} = 0,084 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{celéhrupu}} = 0,58 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{celéruky}} = S_{\text{rukou}} / 2 = 0,180 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{celéhostehna}} = \text{část } R + \text{část } \check{R} + \text{část } S + \text{část } \check{S} = 0,199 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{celéholýtky}} = \text{část } T + \text{část } U + \text{část } V = 0,119 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{celéhochodidla}} = \text{část } W + \text{část } X + \text{část } Y + \text{část } Z + \text{část } \check{Z} = 0,047 \text{ m}^2$$

**3)** Dále bylo nutno vypočítat tvorbu tepla jednotlivých částí těla  $Q_{c\check{c}}$  vzhledem k celkové ploše těla  $S_c$ :

$$Q_{c\check{c}} = \frac{Q_c * S_{c\check{c}}}{S_c} \quad (21)$$

Kde:

$Q_{c\check{c}}$  tvorba tepla celé části těla [W]

$Q_c$  tvorba tepla celkové plochy těla [W]

$S_{c\check{c}}$  plocha celé části těla [ $\text{m}^2$ ]

$S_c$  celková plocha těla [ $\text{m}^2$ ]

$$Q_{c_{hlavy}} = \frac{81,4 * 0,084}{1,77} = 3,86W$$

$$Q_{c_{trupu}} = \frac{81,4 * 0,058}{1,77} = 26,67W$$

$$Q_{c_{ruky}} = \frac{81,4 * 0,18}{1,77} = 8,278W$$

$$Q_{c_{stehna}} = \frac{81,4 * 0,199}{1,77} = 9,15W$$

$$Q_{c_{lytka}} = \frac{81,4 * 0,119}{1,77} = 5,46W$$

$$Q_{c_{chodidla}} = \frac{81,4 * 0,047}{1,77} = 2,16W$$

4) Výpočet  $\phi$  jednotlivých částí těla podle vztahu (15):

$$\phi_{c\check{c}} = \frac{Q_{c\check{c}}}{S_{c\check{c}}}$$

Kde:

$\phi_{c\check{c}}$  hustota tepelného toku celé části těla [Wm<sup>-2</sup>]

$Q_{c\check{c}}$  tvorba tepla celé části těla [W]

$S_{c\check{c}}$  plocha celé části těla [m<sup>2</sup>]

$$\phi_{c_{hlavy}} = \frac{3,86}{0,084} = 45,989Wm^{-2}$$

$$\phi_{c_{trupu}} = \frac{26,67}{0,58} = 45,989Wm^{-2}$$

$$\phi_{c_{ruky}} = \frac{8,287}{0,18} = 45,989Wm^{-2}$$

$$\phi_{c_{stehna}} = \frac{9,15}{0,199} = 45,989Wm^{-2}$$

$$\phi_{c_{lytka}} = \frac{5,46}{0,119} = 45,989Wm^{-2}$$

$$\phi_{c_{chodidla}} = \frac{2,16}{0,047} = 45,989Wm^{-2}$$

**Tab. 13** Vypočítané hodnoty celých částí těla

Část těla	Celková plocha $Scč$ [m <sup>2</sup> ]	Celková tepelná produkce $Qcč$ [W]	Celková hustota tepelného toku $q_{cč}$ [Wm <sup>-2</sup> ]
Hlava	0,084	3,86	45,989
Trup	0,58	26,67	45,989
Ruka	0,18	8,28	45,989
Stehno	0,199	9,15	45,989
Lýtka	0,119	5,46	45,989
Chodidlo	0,047	2,16	45,989

5) Výpočet tvorby tepla  $Qkč$  jednotlivých částí organismu v místech, v nichž dochází ke kontaktu s plochou, na které je organismus v ležící poloze:

$$Qkč_x = \frac{Qcč * Skč}{Scč} \quad (22)$$

Kde:

$Qkč_x$  tvorba tepla jednotlivé části těla, v níž dochází ke kondukcí [W]

$Qcč$  tvorba tepla celé části těla [W]

$Skč$  povrch jednotlivé části těla, v níž dochází ke kondukcí [m<sup>2</sup>]

$Scč$  povrch celé části těla [m<sup>2</sup>]

$$Qkč_{hlavy} = \frac{3,86 * 0,028}{0,084} = 1,29W$$

$$Qkč_{trupu} = \frac{26,67 * 0,258}{0,58} = 11,85W$$

$$Qkč_{ruky} = \frac{8,28 * 0,072}{0,18} = 3,31W$$

$$Qkč_{stehna} = \frac{9,15 * 0,0796}{0,199} = 3,66W$$

$$Qkč_{lýtky} = \frac{5,46 * 0,0476}{0,119} = 2,184W$$

$$Qkč_{chodidla} = \frac{2,16 * 0,000392}{0,047} = 0,018W$$

6) Výpočet  $\phi_{k\check{c}}$  jednotlivých částí v místech, kde dochází ke styku s plochou, na které je organismus v ležící poloze podle vztahu (15):

$$\phi_{k\check{c}} = \frac{Q_{k\check{c}}}{S_{k\check{c}}} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$$

Kde:

$\phi_{k\check{c}}$	hustota tepelného toku jednotlivé části těla, kde dochází ke kondukcí	[Wm <sup>-2</sup> ]
$Q_{k\check{c}}$	tvorba tepla jednotlivé části těla, v níž dochází ke kondukcí	[W]
$S_{k\check{c}}$	povrch jednotlivé části těla, kde dochází ke kondukcí	[m <sup>2</sup> ]

$$\phi_{k\check{c}}_{hlavy} = \frac{1,29}{0,028} = 45,952 \text{ Wm}^{-2}$$

$$\phi_{k\check{c}}_{trupu} = \frac{11,85}{0,258} = 45,943 \text{ Wm}^{-2}$$

$$\phi_{k\check{c}}_{ruky} = \frac{3,31}{0,072} = 45,972 \text{ Wm}^{-2}$$

$$\phi_{k\check{c}}_{stehna} = \frac{3,66}{0,0796} = 45,98 \text{ Wm}^{-2}$$

$$\phi_{k\check{c}}_{lýtka} = \frac{2,184}{0,0476} = 45,88 \text{ Wm}^{-2}$$

$$\phi_{k\check{c}}_{chodidla} = \frac{0,018}{0,000392} = 45,95 \text{ Wm}^{-2}$$

7) Výpočet velikosti tepelného odporu oděvu jednotlivých částí těla  $R_{mk\check{c}}$ , v místech styku s plochou, na které je organismus v ležící poloze:

$$R_{mk\check{c}_x} = \frac{T_{p\check{c}} - T_t}{\phi_{k\check{c}}} \quad (23)$$

Kde:

$R_{mk\check{c}_x}$	tepelný odpor jednotlivé části těla, kde dochází ke kondukcí	[m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]
$T_{p\check{c}}$	teplota pokožky části těla	[°C]
$T_t$	teplota na povrchu textilní vrstvy	[°C]
$\phi_{k\check{c}}$	hustota tepelného toku jednotlivé části těla, kde dochází ke kondukcí	[Wm <sup>-2</sup> ]



$$R_m k\check{c}_{hlavy} = \frac{33,8 - 14,64}{45,952} = 0,417 m^2 KW^{-1}$$

$$R_m k\check{c}_{trupu} = \frac{34,2 - 14,64}{45,943} = 0,426 m^2 KW^{-1}$$

$$R_m k\check{c}_{ruky} = \frac{33,1 - 14,64}{45,972} = 0,402 m^2 KW^{-1}$$

$$R_m k\check{c}_{stehna} = \frac{33,0 - 14,64}{45,98} = 0,399 m^2 KW^{-1}$$

$$R_m k\check{c}_{lýtko} = \frac{32,2 - 14,64}{45,88} = 0,383 m^2 KW^{-1}$$

$$R_m k\check{c}_{chodidla} = \frac{31,0 - 14,64}{45,95} = 0,356 m^2 KW^{-1}$$

8) Výpočet celkového tepelného odporu všech vrstev  $R_{sum}k\check{c}$ , v místech, kde dochází ke kondukcii, podle vztahu (20):

$$R_{sum}k\check{c}_{hlavy} = 0,417 + \frac{1}{7} = 0,560 m^2 KW^{-1}$$

$$R_{sum}k\check{c}_{trupu} = 0,426 + \frac{1}{7} = 0,569 m^2 KW^{-1}$$

$$R_{sum}k\check{c}_{ruky} = 0,402 + \frac{1}{7} = 0,545 m^2 KW^{-1}$$

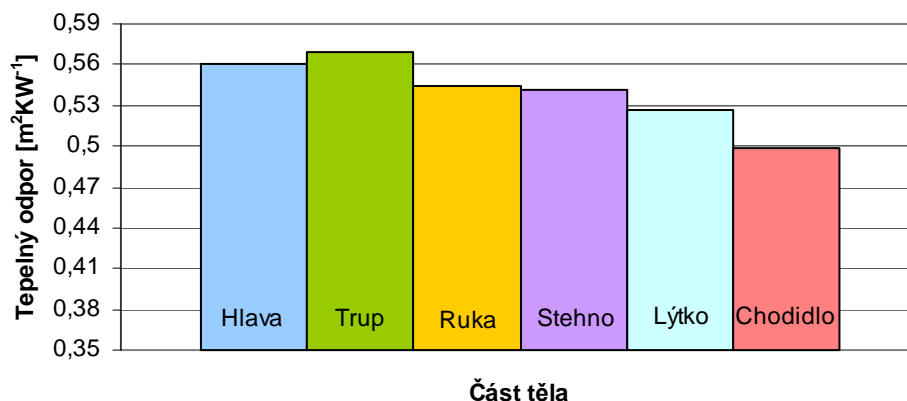
$$R_{sum}k\check{c}_{stehna} = 0,399 + \frac{1}{7} = 0,542 m^2 KW^{-1}$$

$$R_{sum}k\check{c}_{lýtko} = 0,383 + \frac{1}{7} = 0,526 m^2 KW^{-1}$$

$$R_{sum}k\check{c}_{chodidla} = 0,356 + \frac{1}{7} = 0,499 m^2 KW^{-1}$$

**Tab. 14** Vypočítané hodnoty jednotlivých částí těla, kde dochází ke kondukcii

Část těla	Teplota pokožky $Tp\check{c}$ [°C]	Plocha těla $S_{k\check{c}}$ [m <sup>2</sup> ]	Tepelná produkce těla $Q_{k\check{c}}$ [W]	Hustota tepelného toku $\Phi$ [Wm <sup>-2</sup> ]	Tepelný odpor těla $R_m k\check{c}$ [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]	Celkový tepelný odpor všech vrstev $R_{sum}k\check{c}$ [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]
Hlava	33,8	0,084	3,86	45,989	0,417	0,560
Trup	32,4	0,58	26,67	45,989	0,426	0,569
Ruka	33,1	0,18	8,28	45,989	0,402	0,545
Stehno	33,0	0,199	9,15	45,989	0,399	0,542
Lýtka	32,2	0,119	5,46	45,989	0,383	0,526
Chodidlo	31,0	0,047	2,16	45,989	0,356	0,499



**Obr. 12** Grafické znázornění velikosti tepelného odporu oděvu jednotlivých částí těla při teplotě okolí 8,07 °C

Na grafickém znázornění na obr. 12, je znázorněna velikost tepelného odporu oděvu jednotlivých částí těla při teplotě okolí 8,07 °C. Na první pohled je zřejmé, nejmenší tepelnou izolaci je potřeba použít pro chodidlo a největší pak pro trup.

### 4.3 Výpočet tepelného odporu oděvu v závislosti na teplotě okolí

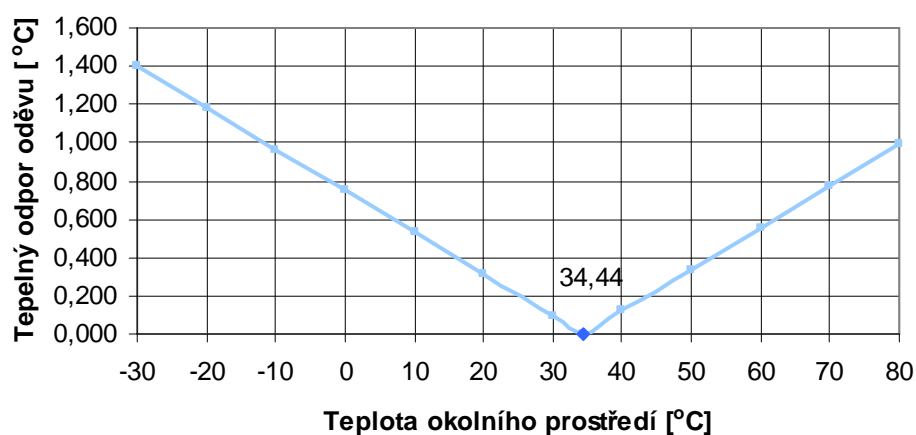
Tato část výpočtů poukazuje na porovnání míry tepelné izolace oděvu během různých  $T_o$ .

Postup průběhu se z části shoduje s předchozími výpočty, a to ve stanovení:

- velikosti tepelné produkce  $Q$  - tab. 1
- plochy povrchu organismu  $S$  - příloha č. 4
- velikosti hustoty tepelného toku  $\phi$  - vztah (15)
- komfortní teploty pokožky  $T_{p_{pr}}$  - vztah (17)
- teploty okolního prostředí  $T_o$
- součinitele přestupu tepla  $\alpha$  - příloha č.5, tabulka 2
- celkového tepelného odporu všech vrstev - vztah (21)

**Tab. 15** Vypočítané hodnoty při klidu na lůžku

$S$ [m <sup>2</sup> ]	$Q$ [W]	$\Phi$ [Wm <sup>-2</sup> ]	$T_p$ [°C]	$T_o$ [°C]	$\alpha$ [Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	$R_{sum}$ [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]
1,77	81,4	45,989	34,44	-30	7	1,401
1,77	81,4	45,989	34,44	-20	7	1,184
1,77	81,4	45,989	34,44	-10	7	0,966
1,77	81,4	45,989	34,44	0	7	0,749
1,77	81,4	45,989	34,44	10	7	0,531
1,77	81,4	45,989	34,44	20	7	0,314
1,77	81,4	45,989	34,44	30	7	0,097
1,77	81,4	45,989	34,44	34,44	7	0,000
1,77	81,4	45,989	34,44	40	7	0,121
1,77	81,4	45,989	34,44	50	7	0,338
1,77	81,4	45,989	34,44	60	7	0,556
1,77	81,4	45,989	34,44	70	7	0,773
1,77	81,4	45,989	34,44	80	7	0,991



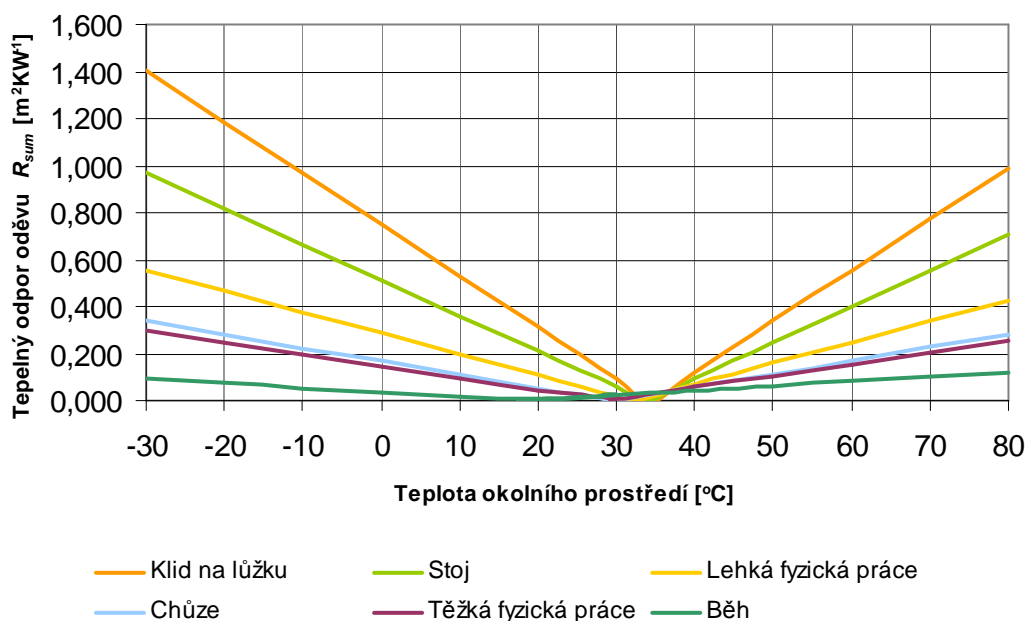
**Obr. 13** Grafické znázornění závislosti tepelného odporu oděvu na teplotě okolního prostředí při  $Q = 81,4$  W (klid na lůžku)

Z obr. 13, grafického znázornění, je patrné, jak se mění míra tepelného odporu v závislosti na  $T_o$  při fyzické aktivitě klidu na lůžku. Ve zlomovém bodě (při shodných  $T_o$  a pokožky) se zvyšuje  $R$  jak do kladného, tak do záporného směru osy x. Je tedy

potřeba do chladného i do teplého okolního prostředí, zvyšovat tepelně izolační schopnosti oděvu.

Pokud si teploty okolí a pokožky budou rovny (zlomový bod  $R$ ), pak nastane situace tepelné rovnováhy mezi organismem a okolním prostředím. V tomto bodě je tedy hodnota tepelného odporu nulová.

Pro porovnání velikosti  $R_{sum}$  při různých fyzických činnostech, byly do výpočtů této části kapitoly dosazovány postupně hodnoty příslušné jednotlivým činnostem organismu a různé teploty okolí. Tabulky vypočtených hodnot obsahuje příloha č. 5. Je nutno podotknout, že ve výpočtech bylo uvažováno pouze s kondukčním sdílením tepla vrstvami oděvu.



**Obr. 14** Grafické znázornění závislosti tepelného odporu oděvu na teplotě okolí při různých fyzických činnostech organismu

Obr. 14 graficky znázorňuje závislost velikosti  $R$  oděvu různých fyzických aktivit organismu na  $T_o$ . Se stoupající fyzickou zátěží (produkci tepla), klesá komfortní teplota pokožky, a tím i potřeba tepelné izolace organismu.

## 5. Závěr

---

Bakalářská práce se zabývala problematikou sdílení tepla, mezi organismem a okolním prostředím, přičemž se zde prolínaly termodynamické prvky a prvky vědního oboru fyziologie odívání. Byly zde uvedeny a vysvětleny fyzikální vztahy a veličiny, potřebné pro následné výpočty návrhu oděvu do chladného a teplého prostředí. Dále zde byly charakterizovány faktory organismu, oděvu a okolního prostředí, ovlivňující šíření tepla a podmínky pro komfortní a funkční vlastnosti oděvu. Řešením těchto otázek se může zabývat další bakalářská práce.

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout optimální řešení oděvního výrobku pro chladné a teplé prostředí, za podmínky kondukčního způsobu šíření tepla mezi organismem a soustavou vrstev oděvu. Touto podmínkou je vzájemný bezprostřední kontakt jednotlivých vrstev, proto byl vybrán stav organismu v klidu na lůžku, kdy ke kondukčnímu způsobu sdílení tepla dochází.

Oděvní výrobek byl sestaven z materiálů, používaných pro výrobu sportovních oděvů, s přihlédnutím na podmínky systému vrstveného oblékání. Jeho vhodné řešení se skládá z materiálů s největšími tepelně izolačními schopnostmi (kombinace první, druhé a třetí vrstvy systému vrstveného oblékání, doplněné souvrstvím spacího pytle), zjištěných na základě měření (viz příloha č. 2). Stavbu oděvu obsahuje příloha č. 1 a podrobnější parametry materiálů jsou uvedeny v kapitole 3 (str. 35 - 38).

Pomocí výpočtů pro stanovení změn teplot na plochách jednotlivých textilních souvrství, byla stanovena příslušná teplota okolí,  $T_o = 8,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ , do jaké je možno toto souvrství zvoleného oděvního výrobku použít, aby byl zachován komfortní tepelný pocit činnosti organismu v klidu na lůžku.

Do výpočtů vstupovaly mnohé ovlivňující veličiny, mezi které patřily: množství tepelné produkce organismu, velikost plochy lidského těla, teplota pokožky, teplota okolního prostředí, součinitelé tepelných vodivostí oděvních materiálů a jejich tloušťka. Všechny tyto parametry byly nezbytné k určení velikosti tepelného odporu soustavy

materiálů, jenž je ovlivňujícím faktorem při použití oděvu pro chladné nebo teplé prostředí.

Při výpočtech bylo poukázáno také na fakt, že jednotlivé části lidského těla, při kondukčním sdílení tepla, vyžadují pro komfortní tepelný pocit, různou míru tepelné izolace, což zapříčiňují odlišné hodnoty teplot pokožky příslušných částí těla. Největší míru tepelné izolace vyžaduje trup,  $R_{sumkčtrupu} = 0,569 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ . Nejnižší naopak chodidlo  $R_{sumkčtrupu} = 0,499 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ . Velikosti tepelných odporů jednotlivých částí těla ukazuje grafické znázornění na **obr. 12** (str.51).

Ze vztahů pro sdílení tepla byly vypočteny velikosti tepelného odporu v závislosti na teplotě okolí, nejen při stavu organismu v klidu na lůžku, nýbrž i při různých činnostech organismu, kdy je produkováno větší množství tepla. Jednotlivé velikosti tepelných odporů jsou obsaženy v tabulkách v příloze č. 6.

Na základě výpočtů a vyhodnocení grafického znázornění dle **obr. 13 a 14** (str. 52, 53), se ukázalo, že potřeba tepelné izolace organismu klesá se stoupající činností, tedy tvorbou tepla. Rovněž bylo zjištěno, že oděv chrání lidský organismus jak před chladnými, tak i před tepelnými účinky okolí, tzn. že oděvu s určitou mírou tepelného odporu přísluší dvě hodnoty teplot okolí, ve kterých jsou dodrženy komfortní pocity organismu - nízkou a vysokou teplotu okolí. Výpočty také ukázaly, že zlomovým bodem (bod změny tepelného odporu - tepelné rovnováhy) velikosti tepelného odporu, jsou sobě si rovny teploty pokožky a okolí.

Vztahů a postupů při sdílení tepla, používaných v této bakalářské práci v praktické části, lze použít při vývoji nových oděvních materiálů, určených pro konkrétní dané teplotní podmínky, nebo k prozkoumání tepelně izolačních vlastností již hotových oděvních výrobků.

Ve výpočtech bylo uvažováno pouze se sdílením tepla kondukcí. V návaznosti na tuto práci, by bylo zajímavé porovnat, zda-li by i při uvažování dalších výměn tepla, mezi organismem a okolním prostředím (konvekce, radiace, respirace, evaporace), oděv také chránil jak před chladnými, tak i tepelnými účinky prostředí.

## 6. Seznam použité literatury

---

- [1] Staněk, J., Kubíčková, M.: *Oděvní materiály*, VŠST Liberec, 1986
- [2] Nožička, J.: *Sdílení tepla*, ČVUT, Praha, 1997
- [3] Sazima, M. a kol.: *Sdílení tepla*, Technický průvodce 78, SNTL, Praha, 1993
- [4] Michejev, M. A.: *Základy sdílení tepla*, SNTL, Praha, 1953
- [5] Sazima, M. a kol.: *Teplo*, Technický průvodce 2, SNTL, 1989
- [6] Afamasjevová, R.F., Čutarevová, Z.S., Delljová, R.A.: *Hygiena odívání*, SNTL, Praha, 1984
- [7] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika, Mechanika – Termodynamika*, VUT, Brno, 2000
- [8] [http://fyziologie.lf2.cuni.cz/hampl/teach\\_mat/termoreg/index.htm](http://fyziologie.lf2.cuni.cz/hampl/teach_mat/termoreg/index.htm)
- [9] <http://www.chmi.cz/meteo/ok/okdata12.html>
- [10] [http://www.viessmann.cz/web/czech/cz\\_publish.nsf/Content/ProfiTipps-Raumtemperatur\\_czech](http://www.viessmann.cz/web/czech/cz_publish.nsf/Content/ProfiTipps-Raumtemperatur_czech)
- [11] Halasová, A.: *Vybrané kapitoly z fyziologie odívání*, TUL, 2004
- [12] Růžicková, D.: *Zpracovatelské a užité vlastnosti oděvních materiálů*, TUL, 2003
- [13] <http://www.moir.cz/whyfun.asp>
- [14] <http://www.deniksport.cz/clanek438870.htm>
- [15] Katalog Hudy: *Zima 2005/06*
- [16] Časopis *Vlákna a textil* 12\_2\_2005
- [17] Ražnjevic, K.: *Termodynamické tabulky*, Alfa, Bratislava, 1984
- [18] Firemní literatura firmy BoBo výroba oděvů, s.r.o., Mezivřší 23, 147 00, Praha 4
- [19] <http://www.alpinepro.cz/cze/level2.html>
- [20] Firemní literatura firmy Tilak, a.s., Žerotínova 627/81, 787 01, Šumperk
- [21] Firemní literatura firmy Prima Outdoor, s.r.o., Václavkova 39, 615 00, Brno

## 7. Seznam příloh

---

<b>Příloha č. 1</b>	<b>Katalog zkoumaných oděvních materiálů</b> (materiály transportní, tepelně izolační a ochranné vrstvy, materiály používané pro výrobu spacích pytlů, vyhodnocené souvrství oděvního výrobku) (Příloha je samostatná, uložená na KKV, Olomoucká 25, 796 01, Prostějov)	
<b>Příloha č. 2</b>	<b>Předběžné výpočty prováděné v průběhu vypracovávání BP</b>	
	Výpočet teploty na povrchu textilní vrstvy.....	1
	Jednoduchá rovinná stěna.....	2
	Jednoduchá válcová stěna.....	3
	Složená rovinná stěna.....	5
	Složená válcová stěna.....	7
<b>Příloha č. 3</b>	<b>Měření tepelných vlastností oděvních materiálů na přístroji</b>	
	Alambeta.....	9
<b>Příloha č. 4</b>	<b>Výpočet velikosti plochy lidského těla</b> .....	13
	Hlava.....	14
	Krk.....	14
	Trup.....	15
	Ruka.....	18
	Noha.....	22
<b>Příloha č. 5</b>	<b>Tabulky hodnot používané ve výpočtech</b> .....	27
	Teplota pokožky osoby hodnotící své tepelné pocity jako „pohodu“.....	27
	Velikost součinitele sdílení tepla prouděním $\alpha$ [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ].....	27
<b>Příloha č. 6</b>	<b>Tabulky výpočtů tepelných odporů různých fyzických aktivit při odlišných teplotách okolního prostředí</b> .....	28